

ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «Робофест» по ФИЗИКЕ
ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ (ФИНАЛЬНЫЙ) ЭТАП 2021 года, ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ТУР
БИЛЕТ № 05 (7-9 классы): возможные решения и критерии

Задание 1:

Вопрос: Высокая вертикальная молния ударила в землю на расстоянии 1320 м от наблюдателя, который слышал звук грома от нее в течении 4,5 с. Какова была высота молнии? Скорость звука в воздухе считайте равной 330 м/с.

Задача: Робот, снабженный ультразвуковым локатором (источником и приемником ультразвуковых импульсов), движется с постоянной скоростью от стены зала. Источник локатора излучает импульсы длительностью $\tau_0 = (25,000 \pm 0,003)$ мс. Приемник локатора фиксирует отраженные от стены импульсы длительностью $\tau \approx (25,070 \pm 0,004)$ мс. С какой скоростью движется робот? Оцените величину погрешности определения скорости таким методом, связанную с неточностью измерения длительности импульсов. Считать, что скорость ультразвука в воздухе при условиях, соответствующих измерению, $u \approx 1470,0 \pm 0,1$ м/с.

Ответ на вопрос: С учетом малости времени разряда, можно прийти к заключению, что длительность грома примерно равна разности расстояний до самого далекого и самого близкого участка «ствола» молнии, разделенную на скорость звука $\tau \approx \frac{r_{\max} - r_{\min}}{V_s}$. Ближайшей является нижняя точка вертикального ствола:

$r_{\min} = l = 880$ м, а самой удаленной – верхняя: $r_{\max} = \sqrt{l^2 + h^2}$. Следовательно,
 $h \approx V_s \tau \sqrt{1 + \frac{2l}{V_s \tau}} = 2475$ м.

Указано, что длительность грома примерно равна разности расстояний до самого далекого и самого близкого участка «ствола» молнии	3
Указано (используется в решении) r_{\min}	2
Указано (используется в решении) r_{\max}	2
Получен правильный ответ для h (достаточно числа)	3
ВСЕГО	10

Решение задачи: Каждому участку импульса нужно пройти со скоростью u расстояние l до стенки, и расстояние до встречи с роботом, то есть $ut = l + l + Vt$. Значит, ультразвук, излучаемый локатором робота, движущегося со скоростью V к стенке, в момент, когда он находился на расстоянии l от нее, вернется к приемнику спустя время $t = \frac{2l}{u - V}$. Поэтому длительность принимаемого импульса определяется

длительностью излучаемого и разностью времен движения начала и конца импульса:
 $\tau = \tau_0 + t_k - t_n = \tau_0 + \frac{2(l + V\tau_0)}{u - V} - \frac{2l}{u - V} = \frac{u + V}{u - V} \tau_0$. Следовательно, $V = \frac{\tau - \tau_0}{\tau + \tau_0} u \approx 2,06$ м/с. При оценке

погрешности (например, характерным для школы интервальным методом) самое важное – чтобы школьник понимал, что погрешность определения скорости связана в первую очередь с погрешностью вычисления разности длительностей импульсов: $\tau - \tau_0 \approx (0,070 \pm 0,007)$ мс. Относительная ошибка результата близка к

$\frac{0,007}{0,070} = 10\%$! Таким образом, $\delta V \approx \frac{1}{10} V \approx 0,21$ м/с. Ответ: $V = \frac{\tau - \tau_0}{\tau + \tau_0} u \approx (2,06 \pm 0,21)$ м/с.

Правильно получена формула для времени «путешествия» ультразвука t	3
Длительность принимаемого импульса считается как $\tau = \tau_0 + t_k - t_n$	2
Получена правильная связь V , u , τ_0 и τ (в любой форме)	3
Получен правильный аналитический ответ для V	2
Получен правильный численный ответ для V	2
Корректно оценена погрешность, причем $0,15 \leq \delta V \leq 0,3$	1+2=3
ВСЕГО	15

Задание 2:

Вопрос: Плотность самшита в 1,2 раза больше, чем у воды. Плотность липы в 1,2 раза меньше, чем у воды. Бруски равного объема из липы и самшита склеили тонким слоем клея и поместили в таз с водой. Что произойдет с таким составным бруском? Ответ обосновать.

Задача: В сосуд с водой опустили цилиндр из дерева с плотностью $0,5 \text{ г/см}^3$, к которому тонким слоем клея был приклеен груз из титана с плотностью $\rho_2 = 4,5 \text{ г/см}^3$. Когда цилиндр с грузом были целиком помещены в воду, то уровень воды в сосуде поднялся на $h_1 = 3,2 \text{ см}$ по сравнению с первоначальным, причем они оставались неподвижны под водой, не касаясь дна и стенок сосуда. Спустя некоторое время клей размок, и груз отделился от цилиндра. Как и на сколько изменится уровень воды в сосуде на этот раз (по сравнению с предыдущим, к моменту установления равновесия). Плотность воды $\rho = 1,0 \text{ г/см}^3$.

Ответ на вопрос: Средняя плотность получившегося тела находится как отношение полной массы этого тела $m = V \cdot 1,2\rho + V \cdot \rho/1,2 = \frac{61}{30}\rho V$ (ρ – плотность воды) к полному объему $2V$. Поэтому

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{61}{60}\rho > \rho. \text{ Значит, составной брусок утонет.}$$

Использовано сравнение средней плотности с плотностью воды или силы Архимеда с силой тяжести	2
Верно найдены полная масса и полный объем составного бруска	2+1=3
Верно определена средняя плотность или записано неравенство для сил	3
Сделан верный вывод о том, что составной брусок утонет	2
ВСЕГО	10

Решение задачи: Когда цилиндр и груз были вместе погружены под воду, общий объем вытесненной воды был равен сумме их объемов: $Sh_1 = \frac{m_1}{\rho_1} + \frac{m_2}{\rho_2}$. (S – площадь сечения сосуда). Так как они находились под

водой в равновесии, не касаясь стенок и дна, то сила Архимеда уравнивала силу тяжести: $(m_1 + m_2)g = \rho \left(\frac{m_1}{\rho_1} + \frac{m_2}{\rho_2} \right)g$, и поэтому $\frac{m_2}{m_1} = \frac{\rho - \rho_1}{\rho_1} \frac{\rho_2}{\rho_2 - \rho}$. Подставляя это соотношение в первое

уравнение, находим, что $Sh_1 = \frac{m_1}{\rho_1} \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 - \rho}$. После разделения груза и цилиндра груз опускается на дно, и он вытесняет прежний объем воды, а цилиндр плавает на поверхности, и теперь вытесняемый им из-под

поверхности воды объем равен $\frac{m_1}{\rho}$. Значит, уровень воды по сравнению с предыдущим состоянием опустится, причем $S\Delta h = \frac{m_1}{\rho} - \frac{m_1}{\rho_1} = -\frac{m_1}{\rho_1} \frac{\rho - \rho_1}{\rho}$. Значит, $\frac{\Delta h}{h_1} = -\frac{\rho_2 - \rho}{\rho_2 - \rho_1} \frac{\rho - \rho_1}{\rho}$. Таким образом,

$$\Delta h = -\frac{(\rho_2 - \rho)(\rho - \rho_1)}{\rho(\rho_2 - \rho_1)} h_1 = -1,125 \text{ см.} \quad \text{Ответ:} \quad \text{уровень} \quad \text{воды} \quad \text{опустится} \quad \text{на}$$

$$-\Delta h = \frac{(\rho_2 - \rho)(\rho - \rho_1)}{\rho(\rho_2 - \rho_1)} h_1 \approx 1,1 \text{ см.}$$

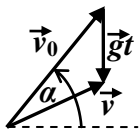
Правильно записан объем вытесненной воды в первом случае	2
Используется условие равновесия цилиндра грузом в первом случае	3
Получено правильное уравнение для Sh_1 через массу m_1 и плотности	3
Получено правильное уравнение для $S\Delta h$ через массу m_1 и плотности	3
Указано, что во втором случае уровень воды опускается по сравнению с первым	1
Получен правильный аналитический ответ для Δh	2
Получен правильный численный ответ для Δh	1
ВСЕГО	15

Задание 3:

Вопрос: Камень бросили со скоростью 3 м/с под углом 40° к горизонту. Через какое время угол наклона вектора скорости к горизонту уменьшится в два раза? Ускорение свободного падения считать равным 10 м/с^2 , сопротивлением воздуха пренебречь.

Задача: Робот-пожарный направляет струю таким образом, чтобы попасть в мишень, находящуюся на расстоянии $L = 10,2$ м по горизонтали от выходного отверстия насадки брандспойта. Это отверстие по вертикали расположено выше мишени на $h = 1,8$ м. Струя попадает в мишень, если она направляется горизонтально. Найдите величину еще одного угла наклона струи к горизонту, при котором струя тоже попадет в мишень. Сколько литров воды в секунду выбрасывает брандспойт этого робота, если площадь сечения выходного отверстия $S = 25$ см²? При ответе на второй вопрос используйте величину ускорения свободного падения $g \approx 10$ м/с².

Ответ на вопрос: Закон изменения скорости в векторной форме при движении с постоянным ускорением \vec{g} имеет вид $\vec{v}(t) = \vec{v}_0 + \vec{g}t$. Из полученного векторного треугольника (см. рисунок) находим, что $v \cos(20^\circ) = v_0 \cos(40^\circ) \Rightarrow v = v_0 \cdot \cos(40^\circ) / \cos(20^\circ)$. С другой стороны, $gt = v_0 \sin(40^\circ) - v \sin(20^\circ)$, откуда $t = \frac{v_0}{g} \operatorname{tg}(20^\circ) \approx 0,11$ с.



Используется закон изменения скорости в векторной или компонентной форме	2
Изображен треугольник скоростей или записаны все необходимые алгебраические соотношения	3
Конечная скорость выражена через начальную	2
Получен правильный ответ для t (достаточно числа или записи через тангенс)	3
ВСЕГО	10

Решение задачи: Введем систему координат, в которой ось x направлена горизонтально, ось y – вертикально, а начало координат совмещено с концом трубки. Закон движения порции воды в этой системе координат позволяет найти уравнение ее траектории:

$$\left\{ \begin{array}{l} x(t) = v_0 \cos(\alpha)t \\ y(t) = v_0 \sin(\alpha)t - \frac{gt^2}{2} \end{array} \right\} \Rightarrow y(x) = \operatorname{tg}(\alpha) \cdot x - \frac{g x^2}{2v_0^2 \cos^2(\alpha)} = \operatorname{tg}(\alpha)x - \frac{g x^2}{2v_0^2} [1 + \operatorname{tg}^2(\alpha)].$$

Для точки падения $-h = l \cdot \operatorname{tg}(\alpha) - \frac{g l^2}{2v_0^2} [1 + \operatorname{tg}^2(\alpha)]$. По условию, один из корней этого уравнения $\alpha = 0$, и

поэтому $v_0^2 = \frac{gl^2}{2h}$. Для второго корня получается уравнение $l - \frac{gl^2}{2v_0^2} \operatorname{tg}(\alpha) = 0$, из которого

$\operatorname{tg}(\alpha) = \frac{l}{h} = \frac{17}{3}$. Таким образом, $\alpha = \operatorname{arctg}\left(\frac{17}{3}\right) \approx 80^\circ$. Расход воды брандспойта $q = v_0 S = l S \sqrt{\frac{g}{2h}} \approx 43$ л/с.

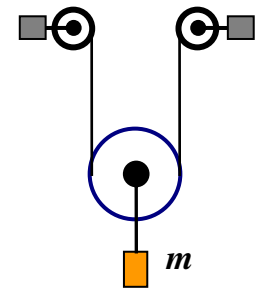
Правильно записан закон движения порции воды	2
Правильно записано уравнение траектории для точки падения	2
Получено правильное уравнение для v_0	3
Записано правильное уравнение для ненулевого значения α	2
Получен правильный аналитический ответ для α или $\operatorname{tg}(\alpha)$	2
Получен правильный численный ответ для α (можно в форме арктангенса)	1
Получен правильный аналитический ответ для q	2
Получен правильный численный ответ для q	1
ВСЕГО	15

Задание 4:

Вопрос: Сила, с которой ротор электродвигателя натягивает трос, наматывающийся на вал ротора, прямо пропорциональна силе тока, текущего в обмотке ротора. Пусть электродвигатель поднимает равномерно груз 1, и при этом сила тока в обмотке ротора 3 А. При равномерном подъеме груза 2 тем же двигателем, подключенным к тому же аккумулятору постоянного тока, сила тока в обмотке равна 2 А. Какой из грузов поднимается с большей скоростью? Ответ объяснить.

Задача: Два разных электродвигателя подключают к аккумулятору с ЭДС $\mathcal{E} = 30$ В и пренебрежимо

малым внутренним сопротивлением. Когда груз массой $m = 6$ кг поднимают вертикально на легком тросе двигателем 1, установившаяся скорость подъема равна $v_1 = 1,8$ м/с при силе тока в обмотке ротора $I_1 = 2,5$ А. При использовании двигателя 2 $v_2 = 3,2$ м/с при $I_2 = 3$ А. Какой будет установившаяся скорость подъема, если поднимать этот груз сразу обоими двигателями, которые параллельно подключены к тому же аккумулятору с использованием схемы подъема, показанной на рисунке (общий легкий нерастяжимый трос перекинут через легкий равноплечий подвижный блок без трения в оси)?



Ответ на вопрос: Работа сторонних сил источника с ЭДС \mathcal{E} идет на механическую работу двигателя, перемещающего груз силой F со скоростью v , и на компенсацию тепловых потерь на сопротивлении контура обмотки ротора R , то есть $\mathcal{E} \cdot I = RI^2 + F \cdot v$. Если $F = kI$, то $v = \frac{\mathcal{E} - RI}{k}$, то есть установившаяся скорость больше при меньшем токе. Значит, большая скорость у второго груза.

Верно указаны слагаемые, входящие в уравнение энергетического баланса	2
Правильно записано уравнение энергетического баланса двигателя	3
Получено верное уравнение, связывающее скорость и силу тока	2
Дан верный ответ на вопрос	3
ВСЕГО	10

Решение задачи: При равномерном подъеме груза сила натяжения троса должна равняться по величине силе тяжести, действующей на груз, то есть $F = mg$. Запишем уравнение энергетического баланса для подъема груза первым электродвигателем: $\mathcal{E} \cdot I_1 = R_1 I_1^2 + mg \cdot v_1$. При этом $I_1 = \frac{mg}{k_1}$. Аналогично для

подъема вторым электродвигателем $\mathcal{E} \cdot I_2 = R_2 I_2^2 + mg \cdot v_2$, и $I_2 = \frac{mg}{k_2}$. При подъеме груза обоими

электродвигателями с помощью подвижного блока сила натяжения троса $T = \frac{mg}{2} = k_1 I'_1 = k_2 I'_2$, поэтому

токи в обмотках роторов двигателей $I'_1 = \frac{1}{2} I_1$ и $I'_2 = \frac{1}{2} I_2$. Значит, уравнение энергетического баланса при

третьем подъеме $\mathcal{E} \cdot \frac{I_1 + I_2}{2} = \frac{1}{4} R_1 I_1^2 + \frac{1}{4} R_2 I_2^2 + mg \cdot v$. Выразим сопротивления обмоток из первых двух

уравнений: $R_1 = \frac{\mathcal{E} - k_1 v_1}{I_1} = \frac{\mathcal{E}}{I_1} - mg \frac{v_1}{I_1^2}$ (и $R_2 = \frac{\mathcal{E} - k_2 v_2}{I_2} = \frac{\mathcal{E}}{I_2} - mg \frac{v_2}{I_2^2}$), и подставим их в третье. В

результате получим, что $\mathcal{E} \cdot \frac{I_1 + I_2}{2} = \mathcal{E} \cdot \frac{I_1}{4} - mg \frac{v_1}{4} + \mathcal{E} \cdot \frac{I_2}{4} - mg \frac{v_2}{4} + mg \cdot v$. Значит,

$$v = \frac{v_1 + v_2}{4} + \mathcal{E} \cdot \frac{I_1 + I_2}{4mg} \approx 1,94 \text{ м/с.}$$

Правильно записано уравнение энергетического баланса для первого подъема	2
Правильно записано уравнение энергетического баланса для второго подъема	2
Указано, что в третьем случае двигатели создают одинаковое натяжение троса, равное $mg/2$	1
Указано, что $I'_1 = I_1/2$ и $I'_2 = I_2/2$	2
Правильно записано уравнение энергетического баланса для третьего подъема	2
Из этого уравнения исключены сопротивления обмоток и получено уравнение для v	3
Получен правильный аналитический ответ для v	2
Получен правильный численный ответ для v	1
ВСЕГО	15